

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Ante Radovan Šoljić

Split, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

**Proračun vodnog lica u neprizmatičnom kanalu za stacionarno
tečenje**

Završni rad

Split, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Ante Radovan Šoljić

BROJ INDEKSA: 4415

KATEDRA: Hidromehanika

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun vodnog lica integracijom diferencijalne jednačbe vodnog lica i pomoću bernoullijeve jednačbe, te usporedba dobivenih rezultata.

Opis zadatka: Potrebno je za zadani kanal raščlanjen u tri dijela s različitim nagibima dna, izračunati vodna lica u kanalu te odrediti i nacrtati krivulju protoka na uzvodnom početku kanala. Proračun vodnog lica provesti integracijom diferencijalne jednačbe vodnog lica i Bernoullijevom jednačbom te usporediti dobivene rezultate.

U Splitu 26.rujna 2019

Voditelj završnog rada

Predsjednik povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

doc. dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.

Prof.dr.sc Ivica Boko

Proračun vodnog lica u neprizmatičnom kanalu za stacionarno tečenje

Sažetak:

U ovom radu definiran nam je uzdužni presjek kanala, načelni poprečni presjek kanala, te tlocrt dna kanala. Na temelju karakteristika kanala i odabranih protoka u rasponu od 5 do 50 (m^3/s) definirana je i nacrtana krivulja protoka na uzvodnom kraju kanala. Zbog promjenjive protjecajne površine kanala (neprizmatično korito) ostvareno je nejednoliko stacionarno strujanje u kanalu te je određivanje kritične dubine provedeno iterativnom Newtonovom metodom. Proračun vodnog lica određen je integracijom diferencijalne jednadžbe vodnog lica te primjenom Bernoullijeve jednadžbe. Na kraju samog rada njihovi rezultati su uspoređeni.

Ključne riječi:

Stacionarno tečenje, neprizmatičan kanal, vodno lice, Bernoullijeva jednadžba, integracija diferencijalne jednadžbe vodnog lica, proračun vodnog lica pomoću Bernoullijeve jednadžbe

Calculation of water face in nonprismatic stationary flow channel

Abstract:

In this paper, we have defined the longitudinal section of the channel, the principal cross-section of the channel, and the floor plan of the channel bottom. Based on channel characteristics and selected flows in range of 5 to 50 (m^3/s) we have defined and drawn the flow curve at the upper side of the channel. Due to the variable flow area of the channel, Non-uniform stationary flow in the channel was obtained, and the critical depth was determined by iterative Newton method. At the end of the paper, their results were compared.

Keywords:

Stationary flow, non prismatic channel, water face, Bernoulli's equation, integration of differential equation of water table, calculation of water table by using the Bernoulli

Sadržaj:

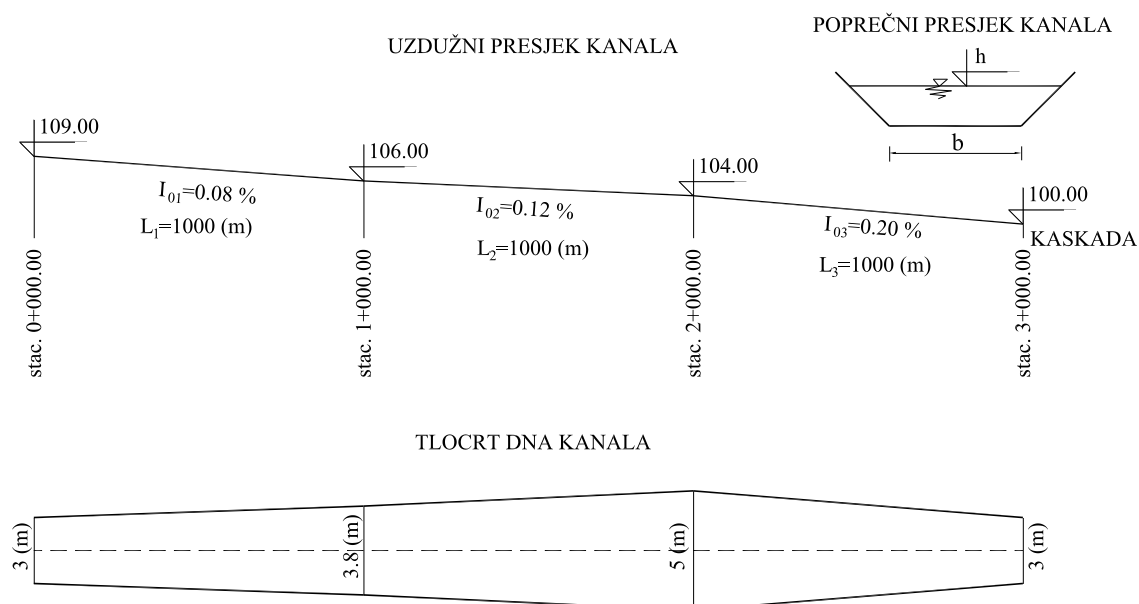
1. ZADATAK.....	1
2. TEHNIČKI OPIS.....	2
2.1. Uvod.....	2
2.2. Tečenje u otvorenim koritama.....	3
3. PRORAČUN.....	5
3.1. Određivanje kritične dubine.....	6
3.2. Proračun vodnog lica.....	9
3.2.1. Proračun vodnog lica integracijom diferencijalne jednačbe	
vodnog lica.....	9
3.2.2. Proračun vodnog lica prema bernoullijevoj jednačbi.....	15
3.3. Usporedba rezultata.....	19
4. ZAKLJUČAK.....	20
5. LITERATURA.....	21

1. ZADATAK

PRORAČUN VODNOG LICA U NEPRIZMATIČNOM KANALU ZA STACIONARNO TEČENJE

Na slici 1. zadan je uzdužni presjek kanala, načelni poprečni presjek kanala, te tlocrt dna kanala. Za odabrane protoke u rasponu od 0 do 50 (m^3/s) potrebno je izračunati vodna lica u kanalu, te odrediti i nacrtati krivulju protoka na uzvodnom početku kanala.

Proračun vodnog lica provesti integracijom diferencijalne jednadžbe vodnog lica, te pomoću Bernoullijeve jednadžbe. Dobivene rezultate treba usporediti.



Slika 1. Geometrija kanala

Zadano je sljedeće:

Apsolutna pogonska hidraulička hrapavost iznosi 15 (mm).

Kinematički koeficijent viskoznosti iznosi 0.00000131 (m^2/s).

Nagib pokosa kanala iznosi 1:1.

Na nizvodnom kraju kanala nalazi se kaskada

Split, 14. svibnja 2019. godine

Mentor:

doc. dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.

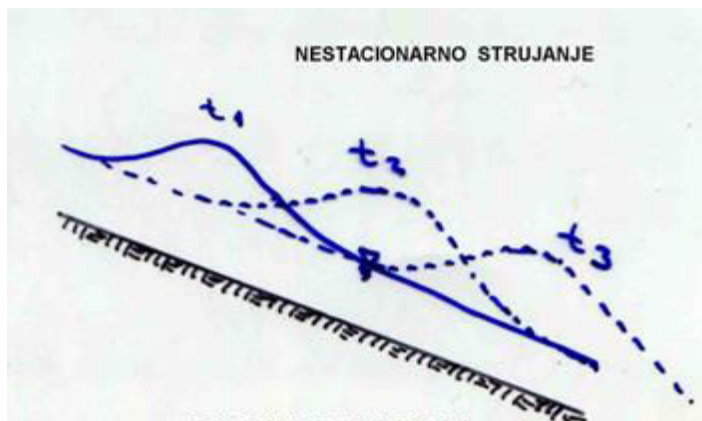
2. TEHNIČKI OPIS

2.1. Uvod

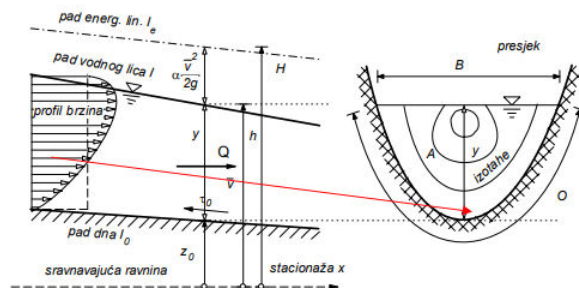
Projektnim zadatkom zadan je kanal koji je podjeljen na tri dionice s različitim padom korita. Duljine dionica su jednakke i iznose po 1000 (m). Širina dionica je promjenjiva i varira u vrijednostima od 3 do 5 (m). Potrebno je za odabrane protoke u zadanom rasponu od 0 do 50 (m^3/s) nacrtati krivulju protoka na uzvdonom rubu kanala, te odrediti vodna lica pomoću integracije diferencijalne jednadžbe vodnog lica i pomoću bernoullijeve jednadžbe, te dobivene rezultate treba usporediti. Prije određivanja krivulje protoka i proračunavanja vodnih lica, uvest će se i definirati svi pojmovi i parametri koji su bitni za rješavanje programskog zadatka.

2.2. Tečenje u otvorenim koritima

Tečenje u otvorenim koritima je najčešćiji problem u praksi, te među prvim oblicima s kojim su se susretali hidrotehničari. Tečenje u otvorenom koritu je karakterizirano slobodnom površinom na kojoj vlada atmosferski tlak. U inženjerskoj praksi se tečenje u otvorenim koritima promatra s obzirom na promjenu oblika vodnog lica i promjenu parametara toka (npr. brzine, dubine, ..) u vremenu.



Slika 2. Nestacionarno strujanje



Jednoliko strujanje: $I = I_0 = I_e$ $\bar{v} = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{c_f}} \sqrt{RI_0}$
Chezy (1769.g): **Manning (1889.g):**

Slika 3. Jednoliko strujanje

S obzirom na promjenu parametara vodnog lica u vremenu, razlikujemo stacionarna i nestacionarna strujanja. Stacionarno strujanje znači da se brzina i tlak u bilo kojoj točki poprečnog presjeka ne mijenjaju tijekom vremena. Nestacionarno strujanje je strujanje kod kojeg se tlak i brzina mijenjaju tijekom vremena.

S obzirom na oblik vodnog lica, tečenje u otvorenim koritima možemo podijeliti na jednoliko i nejednoliko tečenje. Za jednoliko stacionarno strujanje moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

- Stalni protok u koritu
- Konstantan oblik poprečnog presjeka
- Stalni uzdužni nagib dna korita
- Stalna hrapavost stijenke korita uzduž toka
- Pravocrtno strujanje (strujanje bez lokalnih otpora)

Kod nejednolikog tečenja podrazumijeva se promjena parametara (brzina, dubina, protok) i hidrauličkih parametara (presjek, nagib, koeficijent otpora) uzduž toka. Postoje dva oblika slobodne površine kod nejednolikog tečenja:

- Kad dubina uzduž toka postupno raste (tok se usporava)
- Kad dubina uzduž toka postupno opada (tok se ubrzava)

Korita kojima je poprečni profil uzduž toka konstantan nazivaju se prizmatična korita. Uz stalnost površine i protoka očekuje se i nepromijenjen profil brzina. Dubina vode je konstantna usljed čega je pad vodnog lica I jednak padu dna kanala I_0 , a zbog jednake brzinske visine u svim presjecima jednak je i padu linije energije I_e . Osim kinematskih podjela na stacionarno/nestacionarno strujanje, jednoliko/nejednoliko tečenje, od velike je važnosti dinamička podjela na laminarno i turbulentno, te mirno i silovito tečenje. Reynolds je svojim pokusima utvrdio razliku između laminarnog i turbulentnog strujanja. Definirao je bezdimenzijski broj koji utvrđuje vrstu strujanja, a predstavlja odnos sila inercija i sila viskoznosti

$$R_e = \frac{vD}{\nu}$$

Reynoldsov broj

$$F_r = \alpha \frac{Q^2}{gA^3} B \quad \text{odnosno} \quad F_r = \alpha \frac{v^2}{g \frac{A}{B}} = \alpha \frac{v^2}{gy}$$

$$\nu = \mu / \rho$$

Kinematički koeficijent
viskoznosti

$$v = Q / A$$

Srednja profilna brzina

$F_r < 1$ - mirno strujanje, razmjerno male brzine

$F_r = 1$ - kritično strujanje

$F_r > 1$ - silovito strujanje, razmjerno velike brzine

Neovisno radi li se o laminarnom ili turbulentnom tečenju, može se provesti još jedna podjela tečenja koja komentira odnos gravitacijskih i inercijalnih sila. Bezdimenzijski parametar koji definira taj odnos se naziva Froude-ov broj. Froude-ov broj je analitički izraz za ocjenu vrste strujanja u ovisnosti o protjecajnom presjeku, površini i protoku. Osim sustava tečenja i strujanja u kanalima, velik utjecaj na brzinu u kanalu imaju hidraulička svojstva kanala. Brzina i protok u kanalu uvelike ovise o obliku protjecajnog presjeka kanala. Forma protjecajnog presjeka je važan faktor u tečenju sa slobodnim vodnim licem. U otvorenim vodotocima sa slobodnim vodnim licem bitni su pojmovi poput proticajne površine A , omočenog opsega O i hidrauličkog radijusa $R=A/O$. Brzina tečenja u kanalu je u ovisnosti i o padu dna kanala.

Nakon upoznavanja sa osnovnim pojmovima i parametrima tečenja u otvorenim koritima, može se pristupiti rješavanju zadatka.

PRORAČUN

3.1. Karakteristike programskog zadatka

Na temelju danog zadatka definirano je stacionarno strujanje u kanalu. Zbog promjenjive geometrije protjecajnog presjeka, radi se o nejednolikom strujanju.

Mirno strujanje – Froude-ov broj manji od 1 što znači da se radi o mirnom režimu tečenja.

U programskom zadatku, protoci se uzimaju kao konstantni duž kanala pa se govori o konzervativnom tečenju.

Nagib dna kanala varira na tri dionici, gledajući nizvodno, u prvoj dionici iznosi 0.08 %, u drugoj dionici 0.12 %, te u trećoj dionici iznosi 0.20 %. Širina dna kanala također varira. Na prvoj dionici raste od 3 (m) do 3.8 (m). Na drugoj dionici širina nastavlja sa proširenjem do 5 (m), te se u trećoj dionici sužava na 3 (m) širine na nizvodnom kraju. Sve dionice su jednakih duljina u iznosu od 1000 (m). Karakteristični odabrani protoci koji se koriste za proračun su:

$$Q_1 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$$

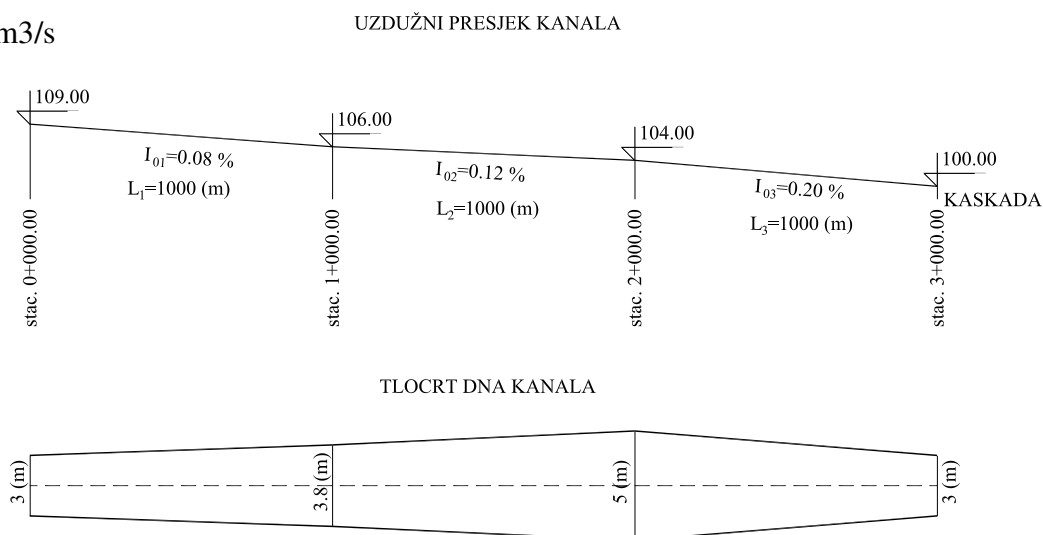
$$Q_2 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_4 = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_5 = 40 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_6 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$$

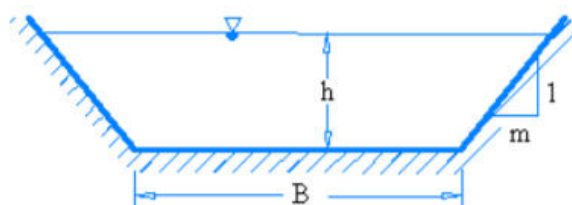


Slika 4. Geometrija kanala

3.2. Određivanje kritične dubine

Kritična dubina proizlazi iz uvjeta da je to dubina pri kojoj Froude-ov broj iznosi jedan. Odredit će se se približnom numeričkom metodom, odnosno Newtonovom metodom koja se bazira na iterativnom postupku približavanja točnoj vrijednosti.

Definiramo zadane karakteristike kanala:



Slika 5. Poprečni presjek kanala

$$A = (b+my) y$$

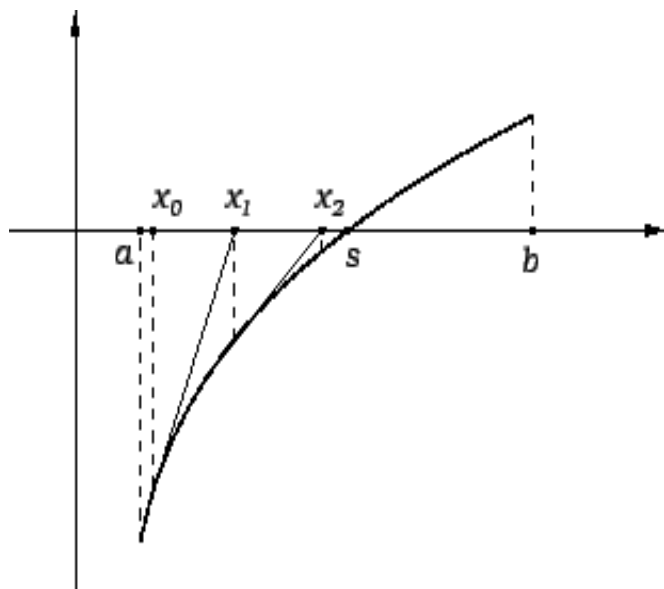
na početku kanala :

$$B = b+2my$$

$$b = 3 \text{ m}$$

$$O = b+2y \sqrt{1 + m^2}$$

$$Fr = \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3} = 1 \Rightarrow F = Fr - 1 = \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3} - 1 = 0$$



Slika 6. Iterativni mješoviti postupkom

$$\left. \frac{\partial Fx}{\partial x} \right|_{x=x_1} = tg\alpha$$

$$tg\alpha * \Delta x = -F(x_1)$$

$$\Delta x = -\frac{F(x_1)}{tg\alpha} = \frac{F(x_1)}{\left. \frac{\partial Fx}{\partial x} \right|_{x=x_1}}$$

$$x_2 - x_1 = -\frac{F(x_1)}{tg\alpha} = \frac{F(x_1)}{\left. \frac{\partial Fx}{\partial x} \right|_{x=x_1}}$$

$$x_2 - x_1 = x_1 - \frac{F(x_1)}{\left. \frac{\partial Fx}{\partial x} \right|_{x=x_1}}$$

$$A = (b+my) y$$

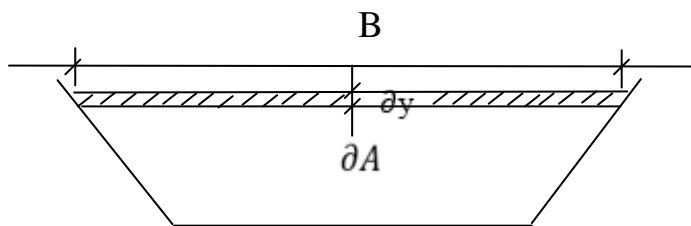
$$B = b+2my$$

$$Fr = \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3} - 1 \left| \frac{d}{dy} \right.$$

$$\frac{dF}{dy} = \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{\frac{\partial B}{\partial y} A^3 - B 3 A^2 \frac{\partial A}{\partial y}}{A^6}$$

$$\frac{\partial B}{\partial y} = 2m$$

$$\frac{\partial A}{\partial y} = B$$



$$dA = B dy$$

$$\frac{dA}{dy} = B$$

Slika 7. Međuodnos širine i visine poprečnog presjeka,

Q	y _{pret}	A	B	dA/dy	dB/dy	F	Df/dy	y _{izr}	Fr
0	0	0	3	3	2	0	0	0,0000	1.00
5	0,6297	2,28562	4,2594	4,2594	2	0	-	0,6297	1.00
10	0,96119	3,80744	4,92237	4,92237	2	0	-	0,9612	1.00
20	1,44374	6,41561	5,88748	5,88748	2	0	-	1,4437	1.00
30	1,81624	8,74743	6,63248	6,63248	2	0	-	1,8162	1.00
40	2,12905	10,92	7,2581	7,2581	2	0	-	2,1290	1.00
50	2,40289	12,9825	7,80578	7,80578	2	0	-	2,4029	1.00

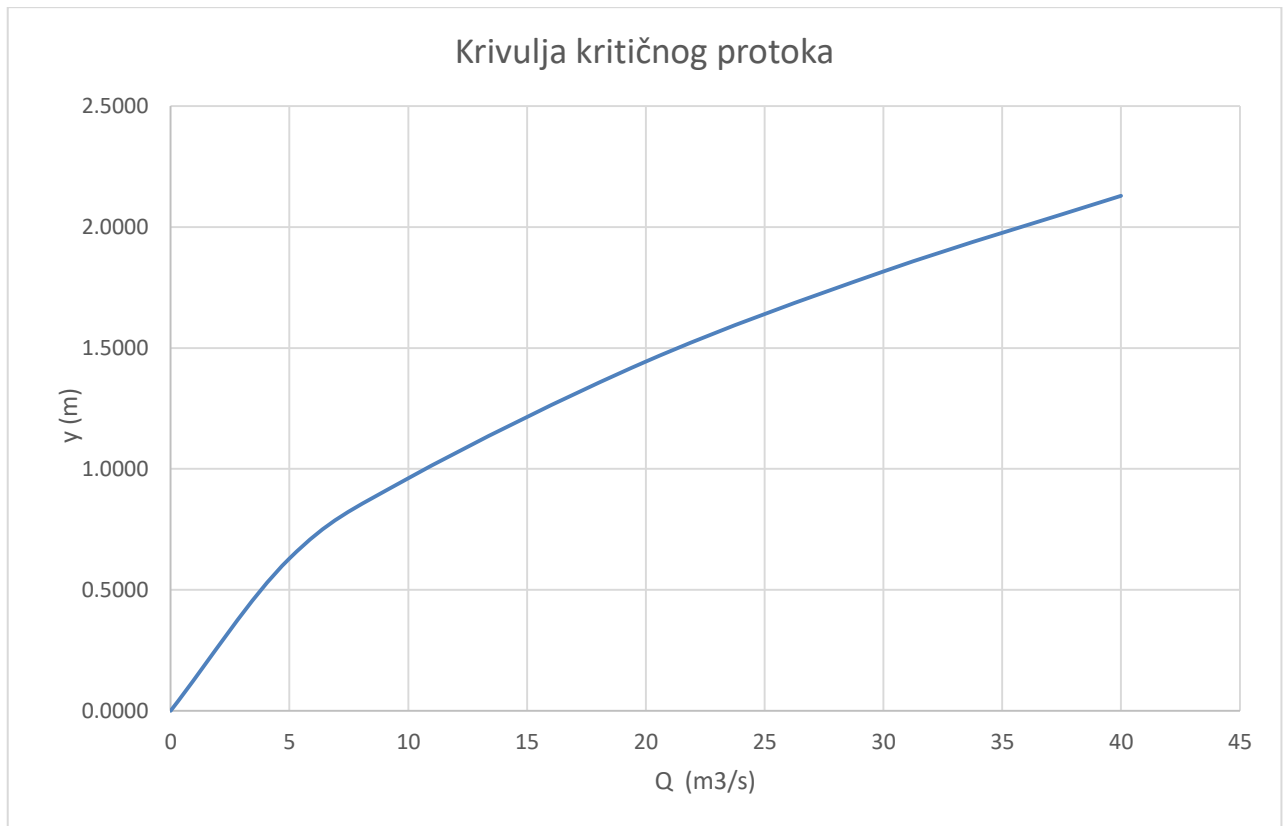
Tablica 1. Proračun kritičnih dubina

Određivanje krivulje kritičnog protoka:

$$Q_c(y) = \sqrt{\frac{g A(y)^3}{\alpha B(y)}}$$

Nakon što se izračuna kritični protok za niz odabranih vrijednosti dubina y, konstruira se

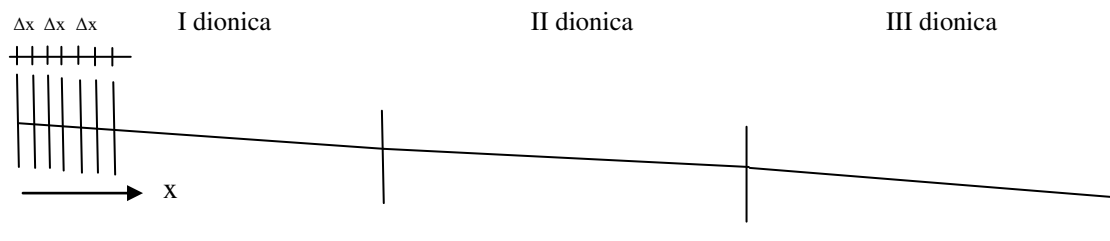
krivulja kritičnog protoka :



Dijagram 0. Krivulja kritičnog protoka

3.3. Proračun vodnog lica

Oblik vodnog lica pri nejednolikom tečenju će biti izračunat tako što će se promatrane dionice korita podijeliti na niz manjih segmenata, te će se za svaki segment (Δx) rješavati odgovarajuće jednačbe.

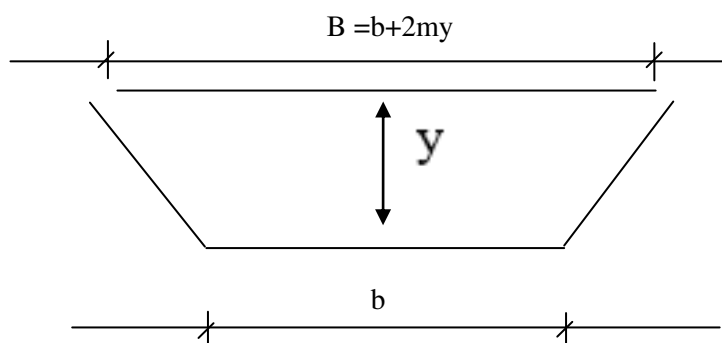


Slika 8. Presjek kanala i podjela po segmentima Δx razmaku od 0.05 m

3.3.1. Proračun integracijom diferencijalne jednačbe vodnog lica

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr}$$

$$dy = \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right) dx$$



Slika 9. Poprečni presjek kanala

$$\int_{y_1}^{y_2} dy = \int_{x_1}^{x_2} \frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} dx \approx (1 - \theta) \cdot (x_2 - x_1) \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right)_1 + \theta \cdot (x_2 - x_1) \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right)_2$$

$$y_2 - y_1 = (1 - \theta) \cdot (x_2 - x_1) \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right)_1 + \theta \cdot (x_2 - x_1) \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right)_2$$

$$y_2 = y_1 + (1 - \theta) \cdot (x_2 - x_1) \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right)_1 + \theta \cdot (x_2 - x_1) \left(\frac{I_0 - I_e + \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y}{1 - Fr} \right)_2$$

$$A = (b + my) y$$

$$B = b + 2my$$

$$O = b + 2y \sqrt{1 + m^2}$$

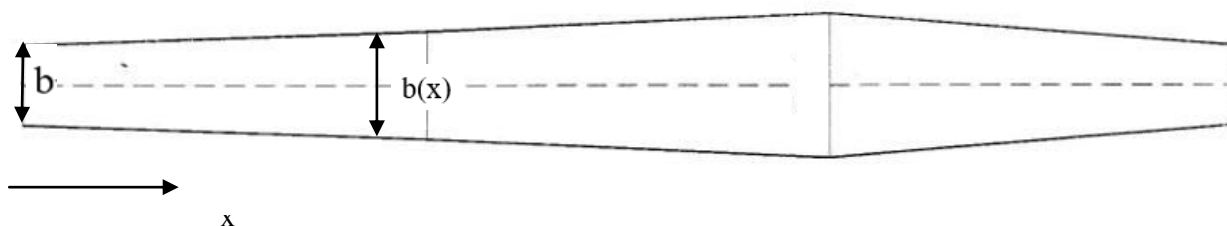
$$R = \frac{A}{O} = \frac{D^2 \pi / 4}{D \pi} = \frac{D}{4} \Rightarrow D = 4R$$

$$\lambda = f\left(\frac{\varepsilon}{D}, Re\right)$$

$$\lambda = \frac{1}{1,14 - 2 \log\left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{9,35}{Re \sqrt{\lambda}}\right)} \quad Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{v 4R}{\nu}$$

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1}{l} \Rightarrow \frac{\Delta H}{l} = l_e = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

TLOCRT DNA KANALA



Slika 10. Ovisnost širine presjeka o stacionaži kanala.

$$\left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y = ?$$

$$A(x) = [b(x) + my] y = b(x) y + my^2$$

$$\left. \frac{\partial A}{\partial x} \right|_y = y \frac{\partial b(x)}{\partial x}$$

1. Dionica [od 0+000,00+1+000,00]

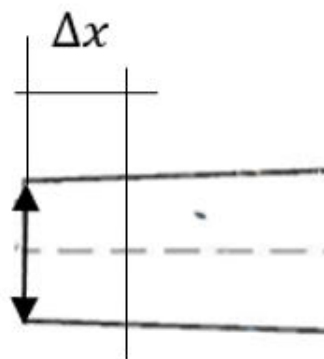
$$b(x) = 3 + \frac{3,8-3}{1000} (x-0) = 3 + \frac{0,8}{1000} x \Rightarrow \frac{\partial b(x)}{\partial x} = \frac{0,8}{1000}$$

2. Dionica [od 1+000,00+2+000,00]

$$b(x) = 3,8 + \frac{5-3,8}{1000} (x-1000) = 3,8 + \frac{1,2}{1000} (x - 1000) \Rightarrow \frac{\partial b(x)}{\partial x} = \frac{1,2}{1000}$$

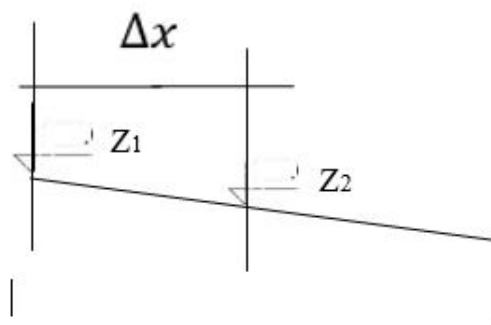
3. Dionica [od 1+000,00+2+000,00]

$$b(x) = 5 + \frac{3-5}{1000} (x-2000) = 5 - \frac{2}{1000} (x - 2000) \Rightarrow \frac{\partial b(x)}{\partial x} = - \frac{2}{1000}$$



$$b_1 \quad b_2 = b_1 + \Delta x \frac{\partial B}{\partial x}$$

slika 11. tlocrt dna kanala

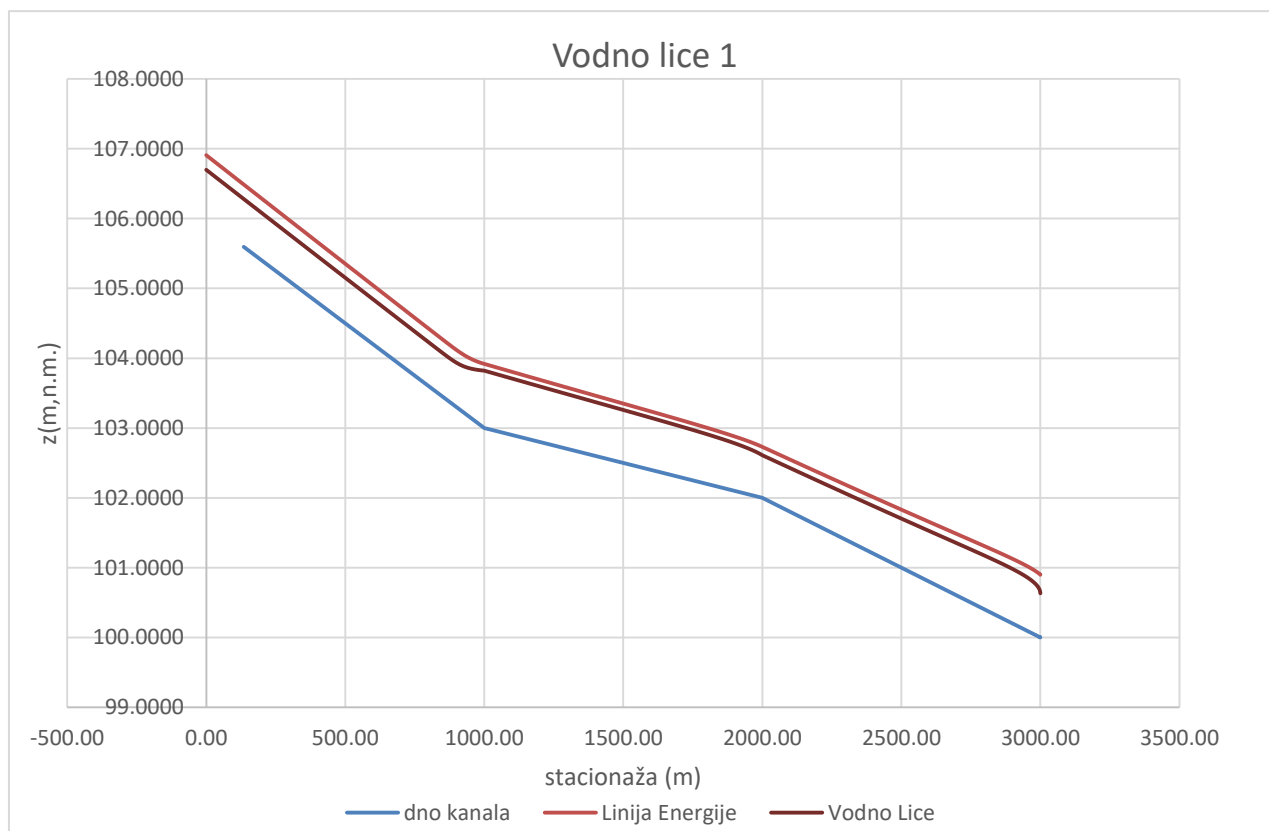


$$Z_2 - Z_1 = - \underline{I_0} \Delta x$$

Slika 12. uzdužni presjek kanala

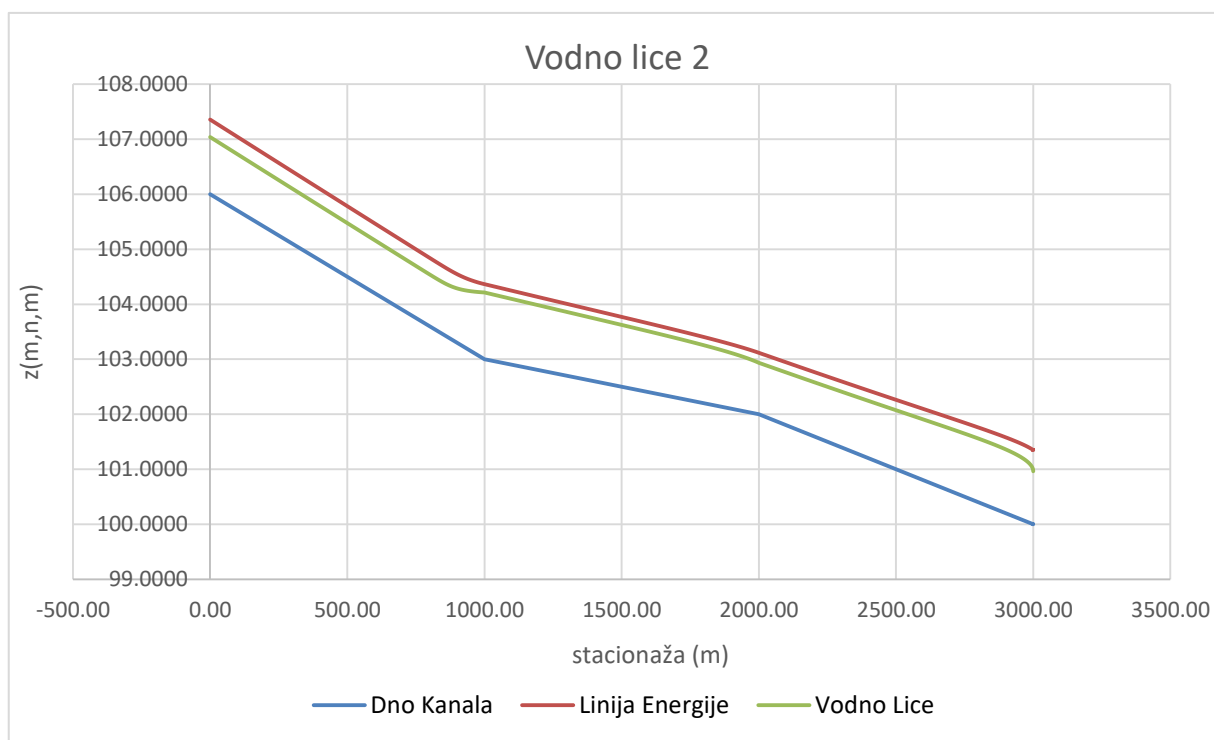
Vodna lica u za odabrane protoke, prema integraciji diferencijalne jednačbe vodnog lica

Vodno lice za protok Q_1 : $5 \text{ (m}^3/\text{s)}$



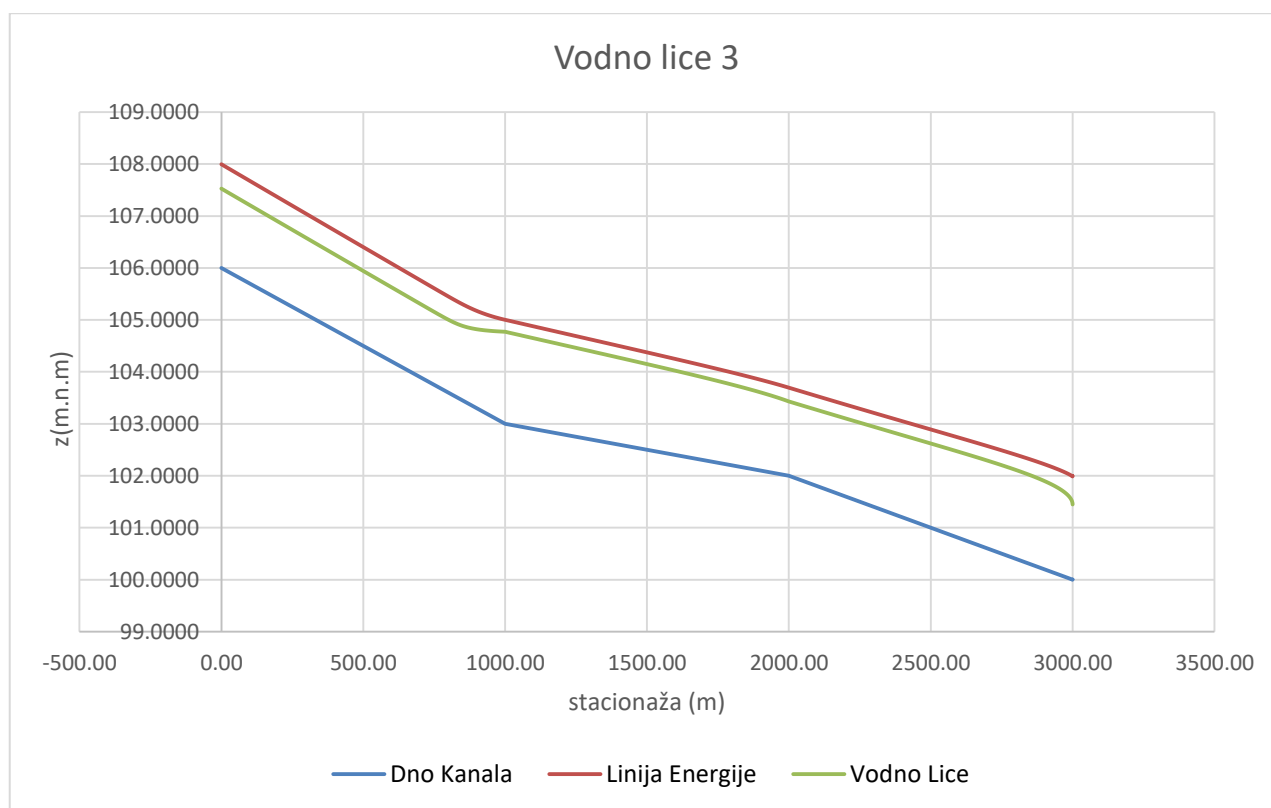
Dijagram 1. Vodno lice za protok Q_1

Vodno lice za protok Q_2 : $10 \text{ (m}^3/\text{s)}$

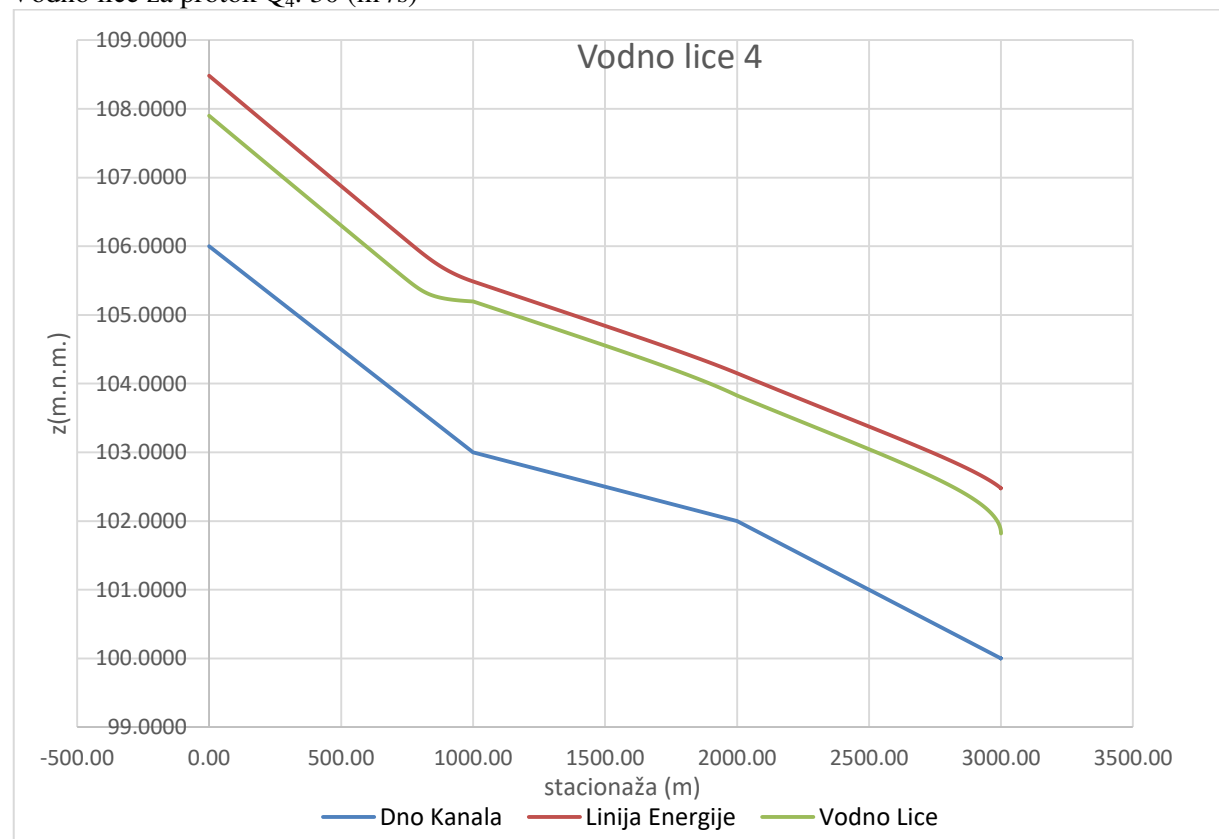


Dijagram 2. Vodno lice za protok Q_2

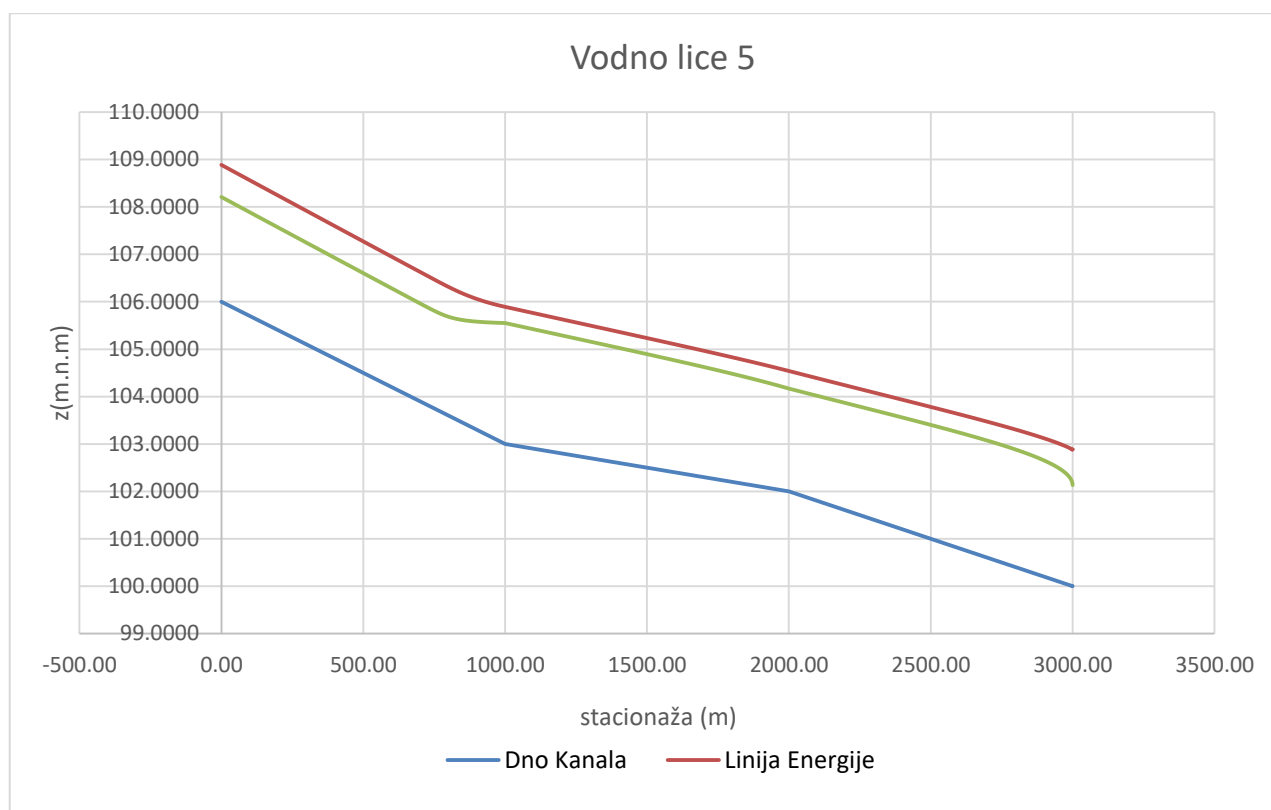
Vodno lice za protok Q_3 : $20 \text{ (m}^3/\text{s)}$



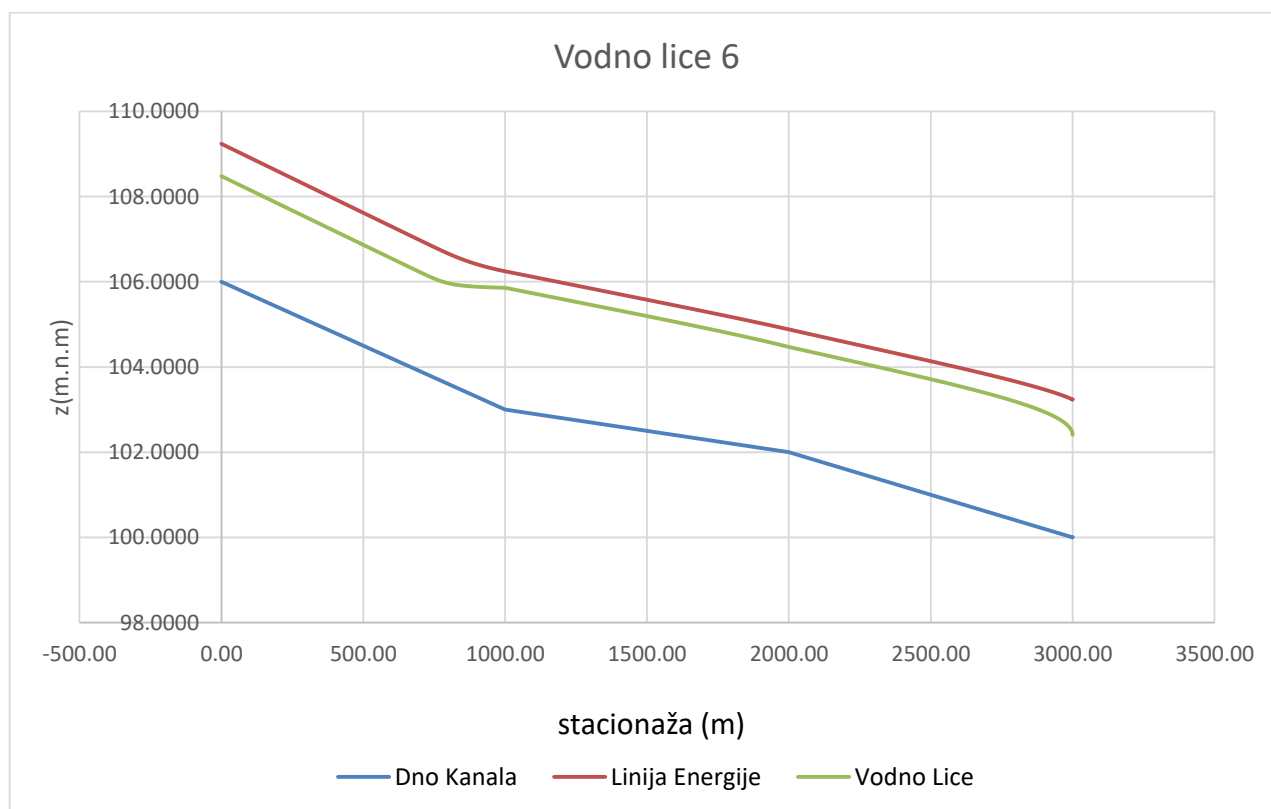
Vodno lice za protok Q_4 : $30 \text{ (m}^3/\text{s)}$



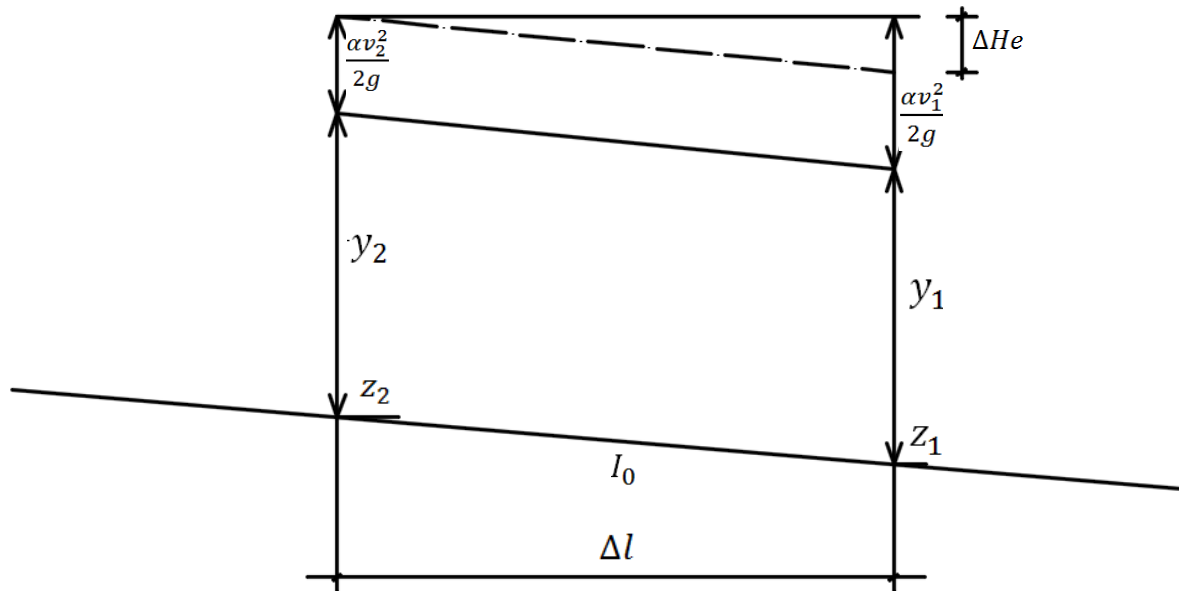
Vodno lice za protok Q_5 : $40 \text{ (m}^3/\text{s)}$



Vodno lice za protok Q_6 : $50 \text{ (m}^3/\text{s)}$



3.3.2. Proračun vodnog lica pomoću bernoullijeve jednadžbe



$$z_1 - z_2 = - I_0 \Delta l$$

Δl - apsolutna vrijednost između dva profila

$$z_2 + y_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} = z_1 + y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} + \Delta H_e$$

$$y_2 = y_1 + z_1 - z_2 + \frac{\alpha}{2g} (v_1^2 - v_2^2) + \Delta H$$

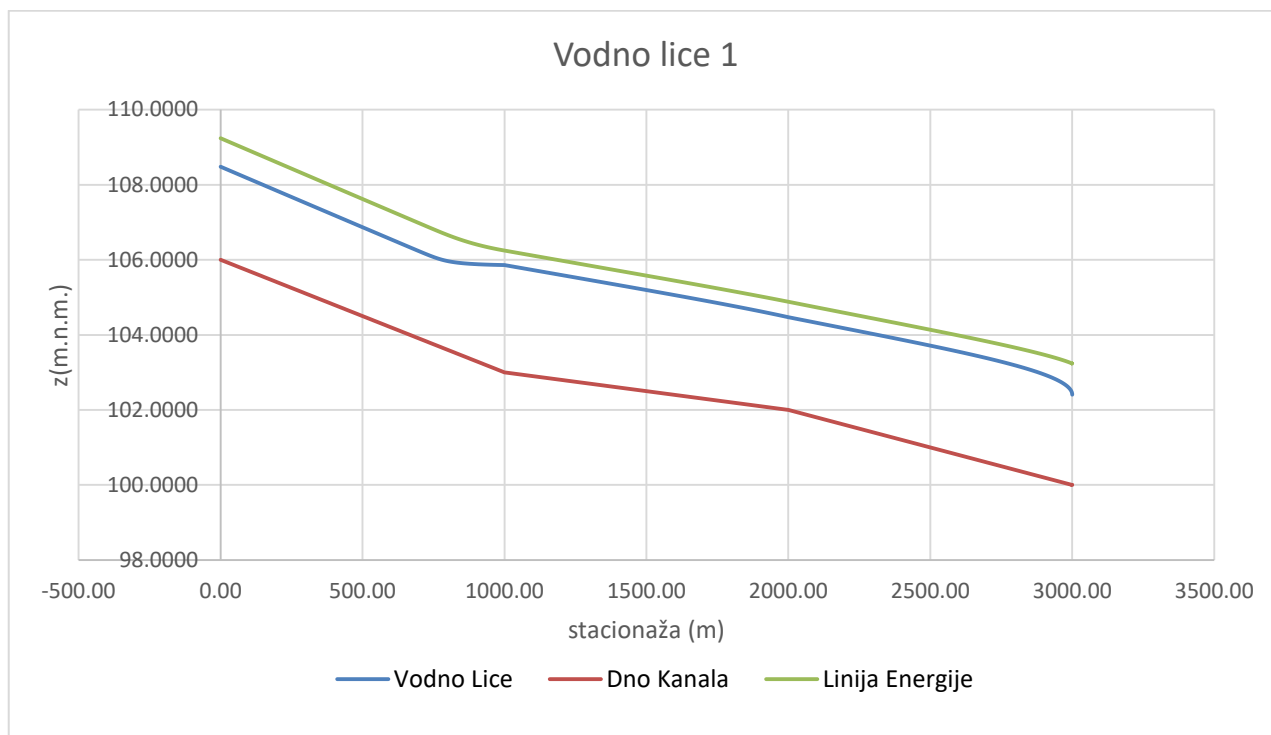
$$y_2 = y_1 - I_0 \Delta l + \frac{\alpha}{2g} (v_1^2 - v_2^2) + \Delta H \quad D = 4R$$

$$\Delta H = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \Delta H = \lambda_1 \frac{\Delta l}{2 \cdot 4 R_1} \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{\Delta l}{2 \cdot 4 R_2} \frac{v_2^2}{2g}$$

$$y_{pretp} \Rightarrow A_2, O_2, R_2, v_2, \Delta H_e \Rightarrow y^{izr}$$

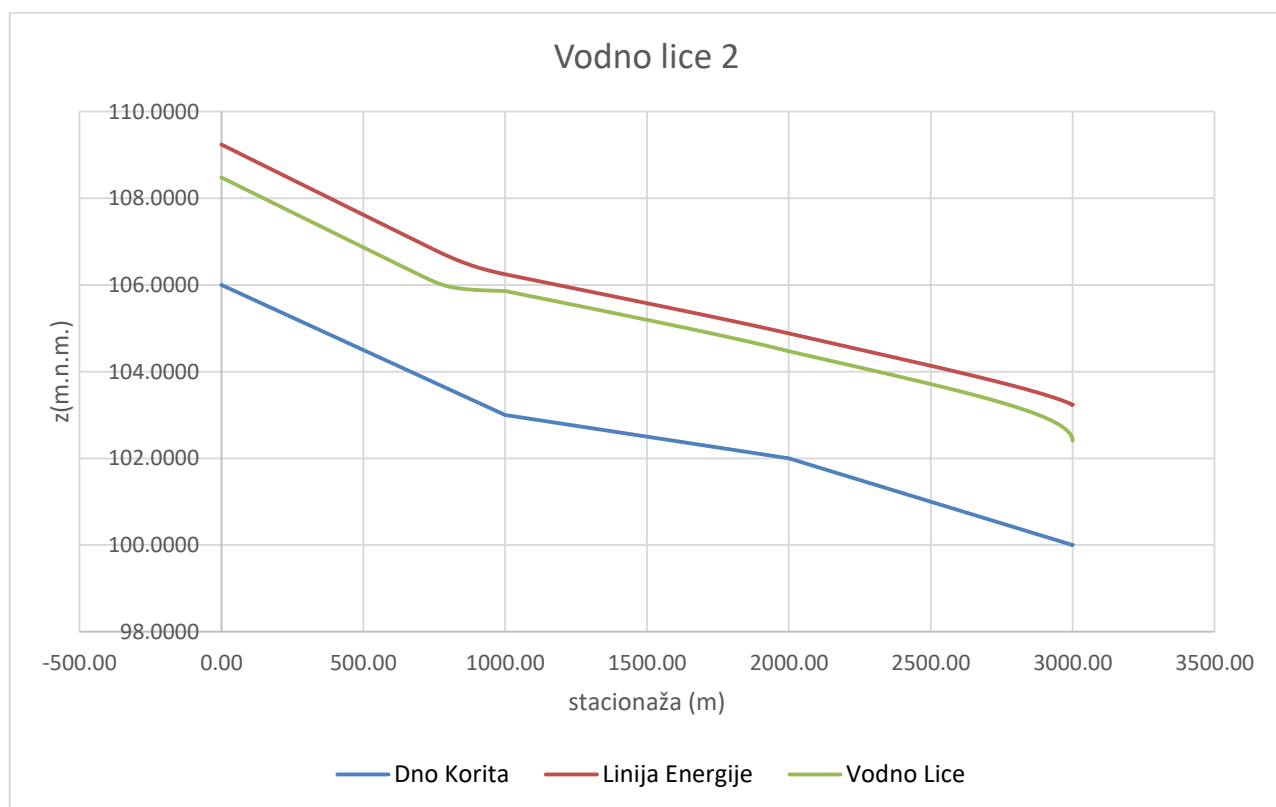
Vodna lica za odabrane protoke prema bernoullijevoj jednadžbi

Vodno lice za odgovarajući protok Q_1 : $5 \text{ (m}^3/\text{s)}$



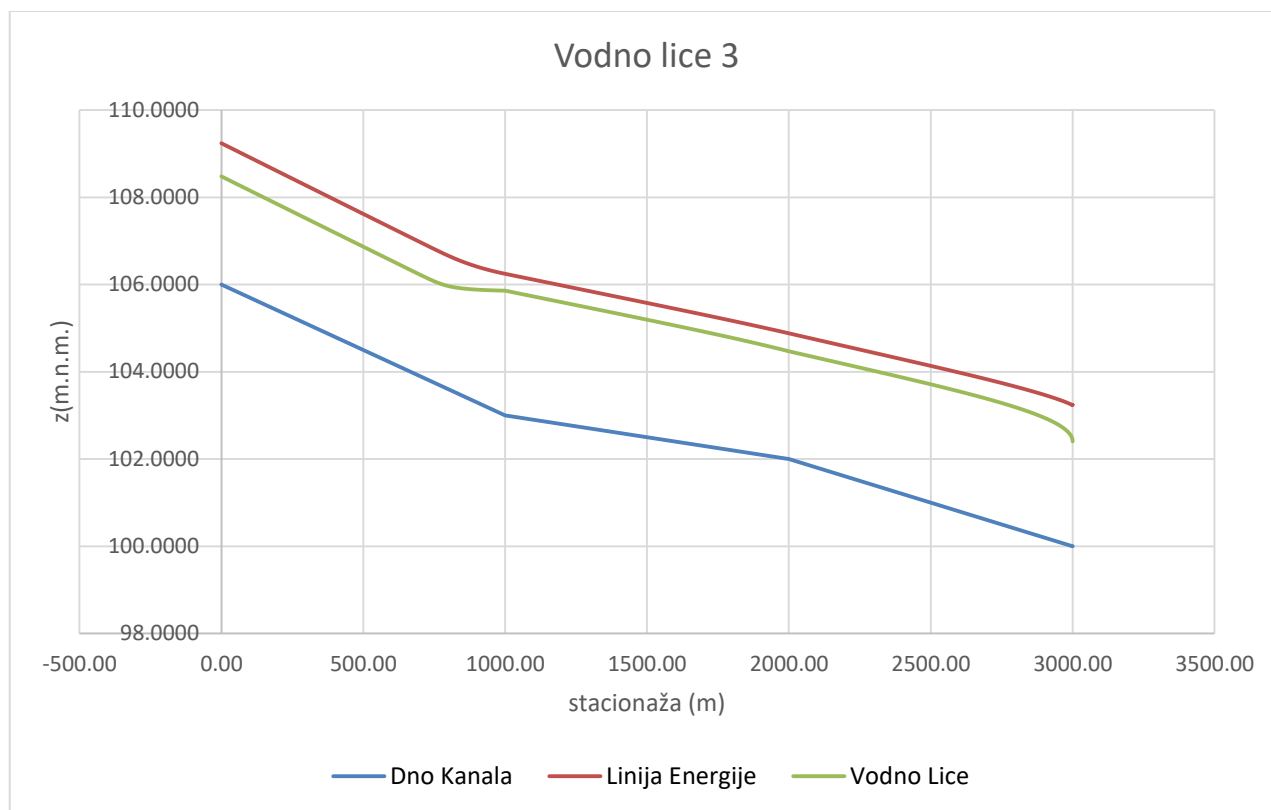
Dijagram 7. Vodno lice za protok Q_1

Vodno lice za odgovarajući protok Q_2 : $10 \text{ (m}^3/\text{s)}$

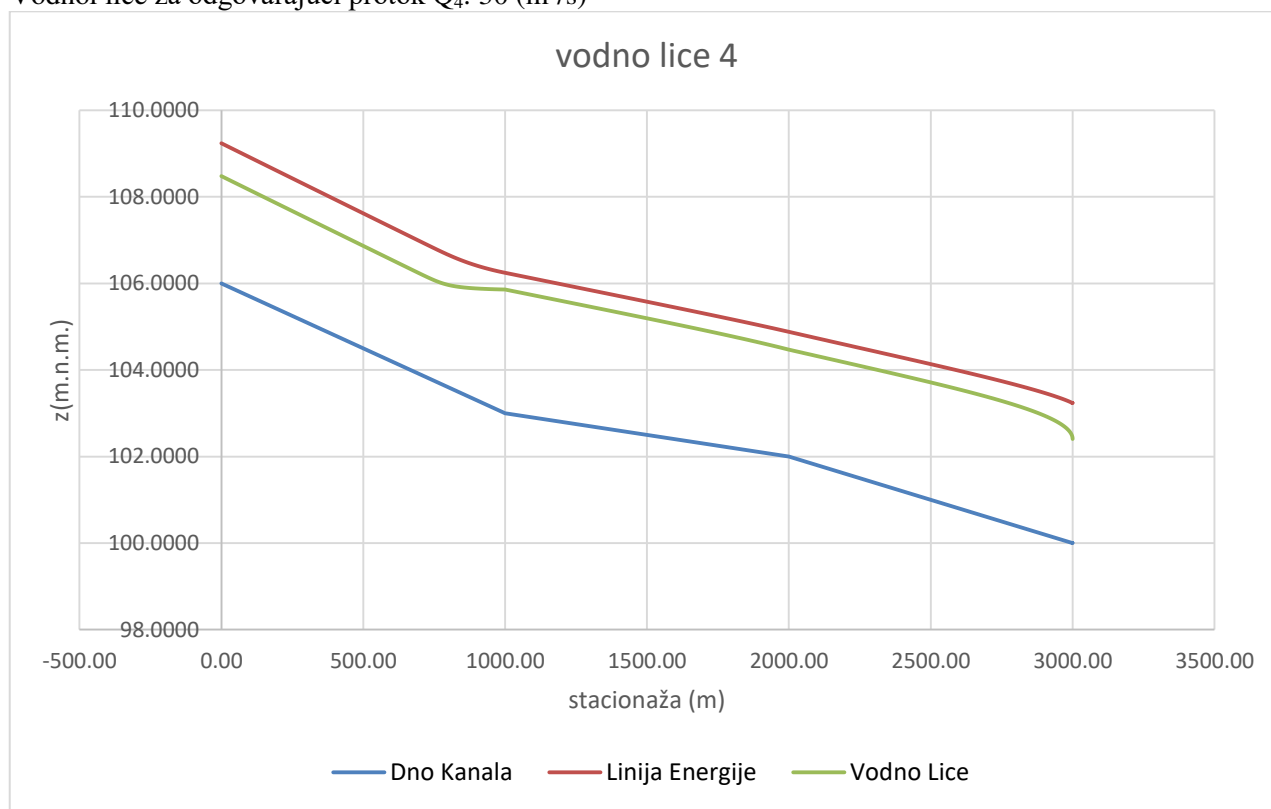


Dijagram 8. Vodno lice za protok Q_2

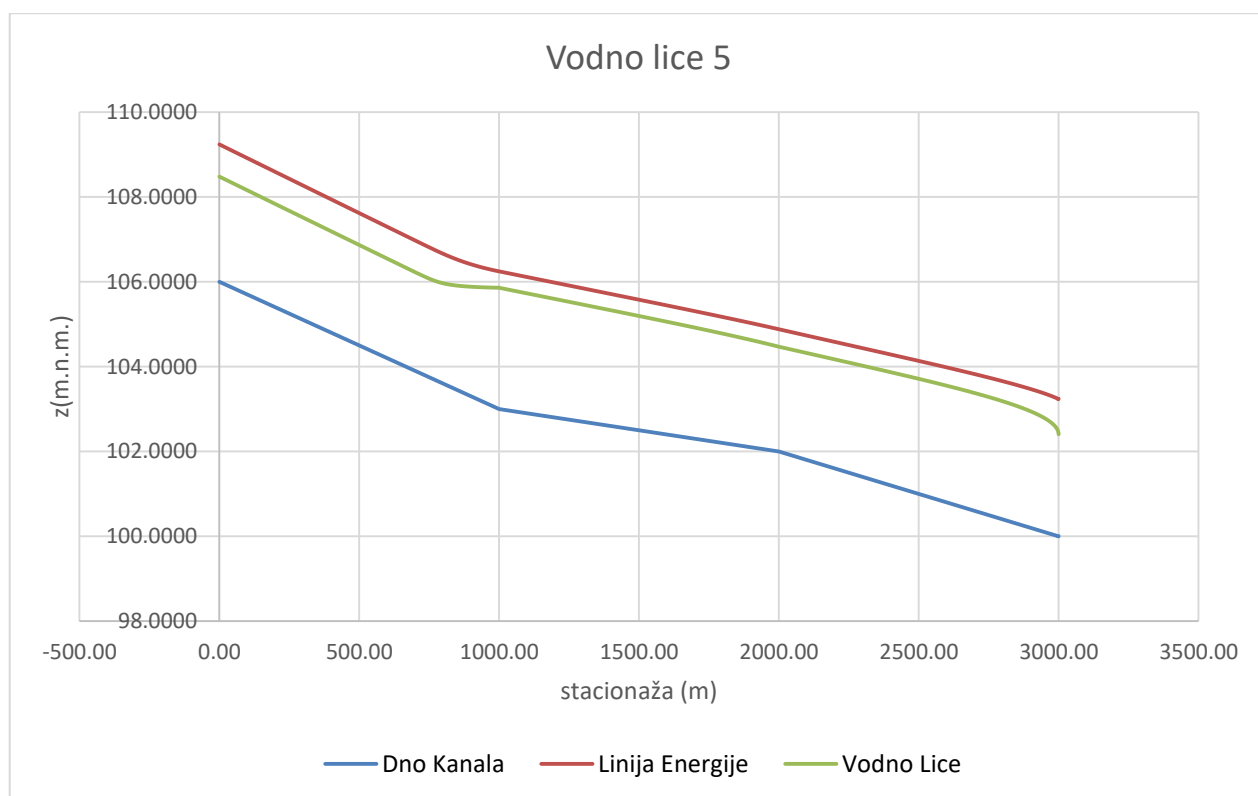
Vodno lice za odgovarajući protok Q_3 : 20 (m³/s)



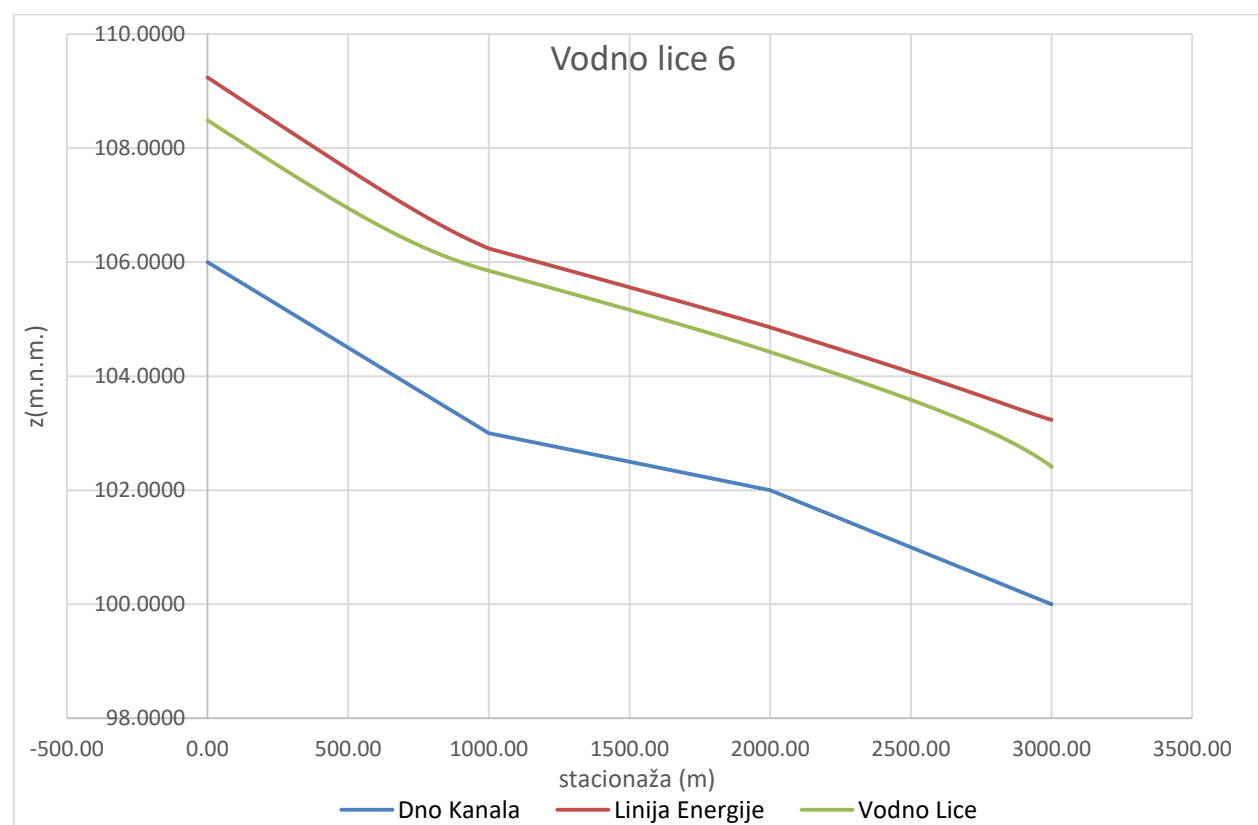
Vodno lice za odgovarajući protok Q_4 : 30 (m³/s)



Vodno lice za odgovarajući protok Q_5 : $40 \text{ (m}^3/\text{s)}$



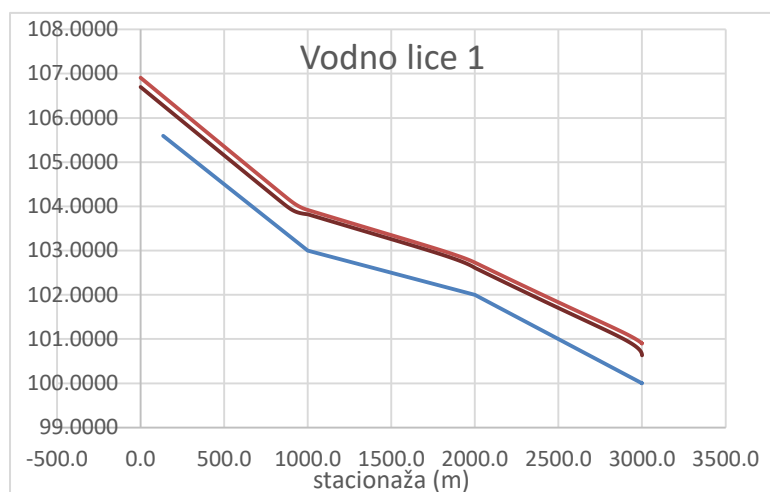
Vodno lice za odgovarajući protok Q_6 : $50 \text{ (m}^3/\text{s)}$



Usporedba dobivenih rezultata vodnog lica na temelju prvog i zadnjeg karakterističnog protoka:

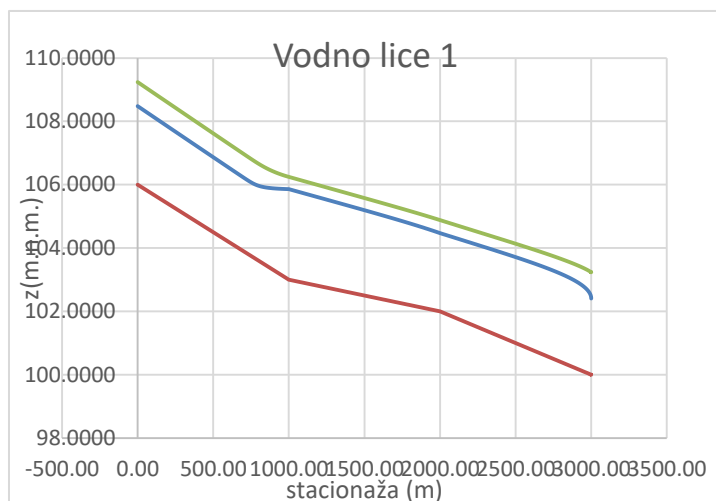
Integracija diferencijalne jednadžbe vodnog lica

Za protok $Q_1 = 5 \text{ (m}^3/\text{s)}$

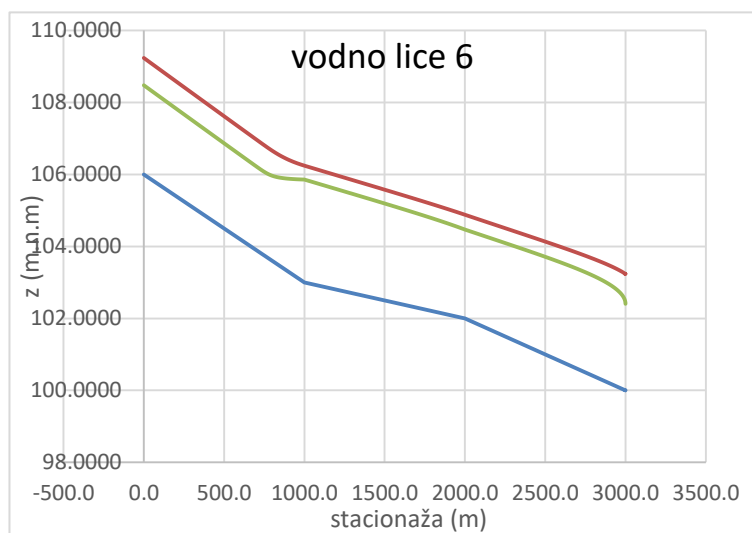


Vodno lice pomoću bernoullijeve jednadžbe

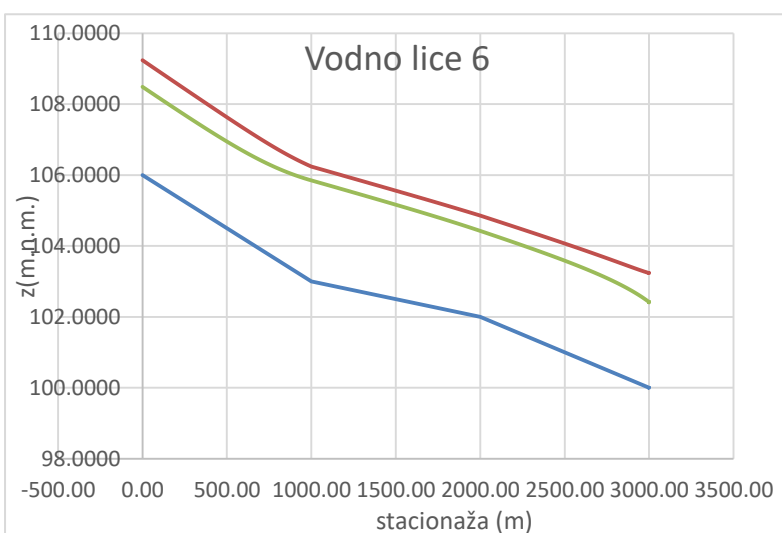
Za protok $Q_1 = 5 \text{ (m}^3/\text{s)}$



Za protok $Q_6 = 50 \text{ (m}^3/\text{s)}$



Za protok $Q_6 = 50 \text{ (m}^3/\text{s)}$



4. ZAKLJUČAK:

Na temelju rezultata proračuna vodnog lica bernoullijevom jednađbom te pomoću integracije diferencijalne jednađbe vodnog lica, te usporedbom njihovih dijagrama, uočava se da se razlikuju u vrijednostima do nekoliko milimetara. Rezultati proračuna vodnog lica pomoću integracije diferencijalne jednađbe vodnog lica mogu se smatrati točnijima od izračunatog vodnog lica pomoću Bernoullijeve jednađbe.

Razlog je u tome što diferencijalna jednađba vodnog lica uzima u obzir i dodatne otpore u proračun koji nastaju od širenja ili sužavanja kanala, te zato daju točniji prikaz vodnog lica nego što je to kod primjene bernoullijeve jednađbe. Ipak su razlike u izračunatim dubinama svega nekoliko milimetara.

5. LITERATURA

- [1] D. Bojanić; Hidromehanika, predavanja
- [2] V. Jović; Osnove hidromehanike
- [3] G. Lončar; Mehanika tekućina, skripta
- [4] A. Karač, Numeričke metode u inženjerstvu
- [5] G. Gjetvaj, Hidraulika, skripta
- [6] I. Kolar, G.Volf, Elvis Žic; Analiza protočnosti kanala različitih oblika poprečnih presjeka i obloženosti, stručni rad